

TARTU ÜLIKOOL
MATEMAATIKA-INFORMAATIKATEADUSKOND
Arvutiteaduse instituut
Infotehnoloogia eriala

Anastassia Soikonen
LEGO MINDSTORMS NXT: Vernier
magnetvälja andur
Bakalaureusetöö (6 EAP)

Juhendaja: lektor Anne Villems
spetsialist Taavi Duvín

Autor: “.....” juuni 2011
Juhendaja: “.....” juuni 2011

Lubada kaitsmisele
Professor “.....” juuni 2011

TARTU 2011

Sisukord

Sissejuhatus	3
1 Magnetväli.....	5
1.1 Magnetvälja olemus	5
1.2 Magnetvälja mõõtmine.....	7
1.3 Magnetilised omadused.....	11
1.4 Magnetvälja kasutamine.....	13
2 Magnetvälja andur (MG-BTA1)	15
2.1 Magnetvälja anduri töö põhimõte	15
2.1.1 Kalibreerimine.....	17
2.1.2 Anduri programmeerimine	17
2.1.3 Vernier magnetvälja anduri plokk.....	19
2.1.4 Andmejaotur	20
3 Ülesanded	21
3.1 Ülesanded magnetvälja andurile	22
3.1.1 Ülesanne 1 – Magnetvälja anduriga tutvumine.....	22
3.1.2 Ülesanne 2 – Magneti leidja.....	26
3.1.3 Ülesanne 3 - Kompass.....	29
3.1.4 Ülesanne 4 – Liikumine mööda juhut	31
Kokkuvõte	33
LEGO MINDSTORMS NXT: Vernier magnetic field sensor.....	34
Abstract	34
Kasutatud materjalid	35
Lisa 1 - CD ülesannete lahendusfailidega	37

Sissejuhatus

Tsivilisatsiooni kiire areng toimub tänu inimese õppimisvõimele. Teadmised teevad võimalikuks konstrueerida ja kasutada masinaid aladel, kus inimeste füüsilised võimed osutuvad ebapiisavateks, töö liiga monotoonseks ja keskkond ebasobivaks. Ümberprogrammeeritavad isetoimivad masinad või lihtsamini öeldes robotid aitavad kaasa inimese liikumist, tajumist ja mõtlemist asendavates töödes, lihtsustavad teadmiste edasi andmist õppimisprotsessis.

Aastal 2007 hakati Kooliroboti projekti raames roboteid kasutama Eesti koolides ja tänaseks on muude ainete kõrvale tekkinud robotika suunitlusega huviringid umbes 90 koolis [1]. Robotitega õppetöö eeliseks on võimalus arendada loogikat ja oskust ehitada erineva kujuga funktsionaalseid masinaid, rakendada teooria kõrvale praktikat ja aru saada, kuidas roboti erinevad osad on suutelised koos töötama.

Roboti ehitamiseks kasutatakse LEGO MINDSTORMS NXT konstruktorit, mis koosneb legoklotsidest, mootoritest, anduritest (sonar, valgusandur, heliandur ja puuteandur), juhtimisajust ja ühendusjuhtmetest. Konstruktor on lihtne ja põnev algajatele robotikahuvilistele, kuid samas pakub ka keerukamaid konstrueerimis- ja programmeerimisvõimalusi edasijõudnutele. Tänu LEGO MINDSTORMS NXT dünaamilisusele kasvab toote populaarsus kiiresti: suureneb NXT-ga ühilduvate programmeerimiskeskkondade, lisaandurite ja muude osade arv. Andureid toodavad mitmed firmad, tuntumad nendest on HiTechnic, Mindsensors, Vernier ja Codatex.

Käesoleva bakalaureusetöö põhieesmärgiks on uurida magnetismi olemust ja kasutamist, koostada erineva tasemega ülesandeid, mis teeksid magnetvälja avastamise ja tundma-õppimise palju huvitavamaks, tutvustada LEGO MINDSTORMS NXT'ga ühilduvat Vernier poolt loodud magnetvälja andurit ja käsitleda järgmisi aspekte:

- Anduri lühitutvustus;
- Anduri tööpõhimõte;
- Anduri kasutamine;
- Kalibreerimine;
- Anduri programmeerimine;

Töö koosneb kolmest osast:

- Esimeses osas selgitatakse magnetvälja olemust, tutvustatakse mõõtmise võimalusi ja magnetväljaga seonduvaid nähtusi, omadusi, kasutamist.
- Teises osas tutvustatakse vastavalt Vernier magnetvälja andurit, tema füüsikalist tausta ja tööpõhimõtet. Vaadatakse, millised on andurite peamised kasutusvõimalused ja kuidas andurit programmeerida.
- Kolmandas osas on esitatud magnetvälja andurile erineva raskusastmega ülesanded koos ülesannete lahendusidee selgituse ja üksikasjalike juhenditega. Iga ülesande juures on toodud ka mõned ideed koos suunavate juhistega, kuidas lahendust edasi arendada.

Eesmärgiga käesoleva bakalaureusetöö edaspidist kasutamist lihtsustada on töö koostamisel lähtutud ühtsest struktuurist. Sarnast struktuuri kasutatakse ka teiste LEGO MINDSTORMS NXT lisaandureid käistlevates bakalaureusetöödes. Käesoleva töö sisu saab üheks osaks Jaana Metsamaa magistritöö raames loodud raamistikus, mis võimaldab nii õpetajatel kui ka õpilastel kasutada robotikat koolides ja lihtsustab materjali haldamist Moodle keskkonnas loodud robotika kaugkoolituskursusel.

1 Magnetväli

Kõik teavad magneti omadust tõmmata ligi raudesemeid. Sellest hämmastavast magnetite eripärast said inimesed teada veel enne meie ajastu algust. Hiinlased ja kreeklaste seostasid rauamaagi omadust tõmmata ligi väiksemaid maagi tükke müstikaga ja koostasid legende. Üks nendest räägib karjapoisist nimega Magnus, kes ühel päeval avastas, et tema kepi rauast ots ja saabaste naelad “kleepuvad” musta kivi külge. Sellele kivile pandi nimeks “Magnuse kivi” või lihtsalt “magnet”, mis pärineb piirkonnast, kus kaevandati rauamaaki (Magnesia linn Väike-Aasias) [2].

Vanasti oli hästi teada ka teine magnetilise maagi omadus. Kui võtta väike piklik rauamaagi tükk, riputada see niidi otsa ja seejärel paigutada vee sisse korgi peale või siis lihtsalt terava otsa peale, siis mõne üksiku, ümber oma telje kõikumise pärast, rauamaagi tükk peatub ühe otsaga põhjapooluse suunas ja teise otsaga lõunapooluse suunas. Seda vabalt liikuva magneti tükikest nimetatakse magnetnõelaks, mille üks ots näitab Maa magnetilist põhjasuunda ja teine lõunasuunda. Kogu see lihtne ilmakaarte näitaja kannab nime kompass.

Raske öelda, kes esimesena võttis kasutusele kompassi. Kui uskuda hiina legende, siis veel 4000 aastat tagasi kasutas imperaator Huang Ti loomveokit, mille peale oli paigaldatud hiinlase kuju ühe välja sirutatud käega. See kuju, koos sinna sisse peidetud magnetiga, oli üks vanimatest kompassidest: liikudes vabalt ümber vertikaaltelje, näitas ta põhjasuunda [3].

Magnetismi uurimine meie ajal on üks füüsika tähtsamatest osadest. Aine magnetilised omadused on endale laia kasutuse leidnud: elektri tootmises ja edasi kandmises, automaatikas, erinevate seadmete ehitamises, raadiosides, telefonisides, meditsiinis ja paljudes teistes harudes.

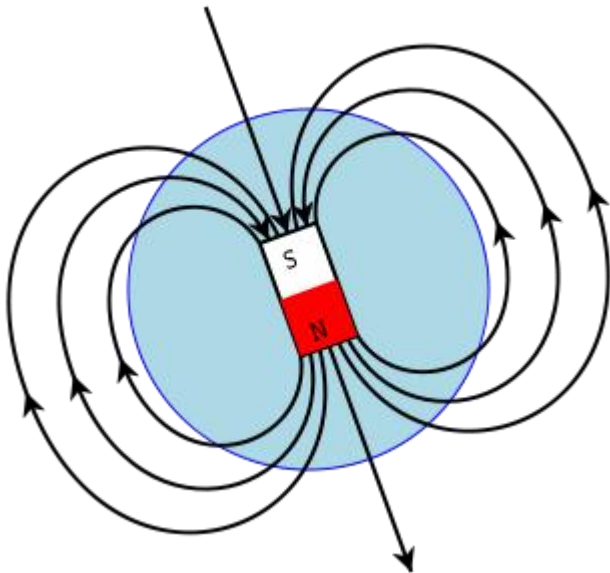
1.1 Magnetvälja olemus

On teada, et magnetite samanimelised poolused tõukuvad ja erinimelised tõmbuvad. Rauatükk, mis asub magneti läheduses, tõmbub tema poole, mille tagajärjel magnetiseerub ehk muutub võimeliseks teisi, rauast tehtud objekte, ligi tõmbama. Jõud, millega magnet tõmbab või tõukab teist magnetit või rauatükki, sõltub nende vahelisest kaugusest ning asukohast. Tavaliselt räägitakse, et magnet tekitab enda ümber magnetilise jõuvälja või lihtsalt magnetvälja. Magnetit

ümbritsevas alas tegutsevad aga magnetjõud. Magnetvälja suurust mingis magneti lähedal olevas piirkonnas tehakse kindlaks selle jõu järgi, millega rauatükk või magnet tõmbub teise magneti juurde. Mida suurem on tõmbejõud, seda tugevam on magnetväli.

XVI sajandil valmistas W.Gilbert magnetrauast kera, Maa väikese kujutise, ja selgitas katseliselt, et sellise kera ja Maa mõju magnetnõelale on sarnased. Järelikult on Maa nagu suur püsimagnet, mille telg erineb Maa pöörlemise teljest $11,3^\circ$ võrra. Telgede vahel tekib nurk - deklinatsioon.

Kuidas aga, teades seda, et ühenimelised magnetid tõukuvad ja erinimelised tõmbuvad, seletada, et kompassi nõel näitab oma põhjasuunaga Maa põhjapooluse ja lõunasuunaga lõunapooluse suunas? Selgitus on lihtne. Maakera põhjapoolkeral asub Maa magnetiline lõunapoolus ja maakera lõunapoolkeral Maa magnetiline põhjapoolus. Maa magnetiline lõunapoolus ei asu aga geograafilisel põhjapoolusel, vaid sellest 2000 km eemal Kanada põhjaosas (Joonis 1) [4].



Joonis 1. Maa magnetväli (Maakera põhjapoolkeral asub Maa magnetiline lõunapoolus ja maakera lõunapoolkeral Maa magnetiline põhjapoolus) [5]

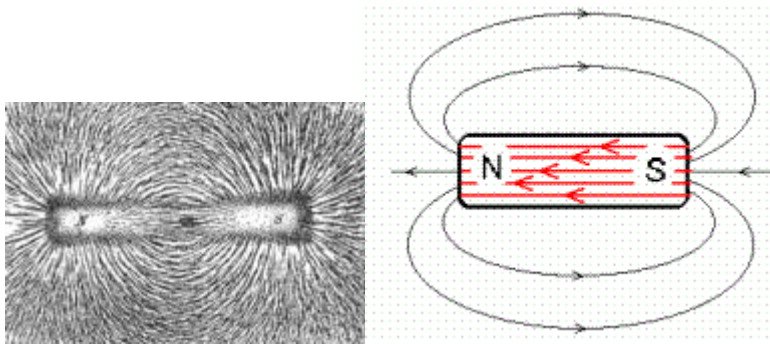
XIX sajandi alguses avastas taani teadlane Ersted (1777-1857), et magnetnõel muudab oma suunda ka alalise elektrivoolu juhi läheduses. See tähendab seda, et elektrivälja muutmine tekitab samuti magnetvälja.

Veel võib magnetvälja vaadelda silindrilisele pinnale ühtlase sammuga keritud ühekihilises traatspiraalis, mida nimetatakse solenoidiks.

1.2 Magnetvälja mõõtmine

Magnetjõude saab matemaatiliselt kirjeldada magnetlaengutega, mis võivad olla positiivsed või negatiivsed. Kuna magnetlaengud on alati paarikaupa, nimetatakse neid tavaliselt magneti poolusteks; seejuures vastab positiivsele laengule põhjapoolus (oriendub Maa magnetvälja mõjul suunaga põhja), negatiivsele aga lõunapoolus. Magnetvälja suund valitakse plussilt miinusele (põhjapooluselt lõunapoolusele) (Joonis 2).

Pooluste kontseptsiooni on võimalik näidata, puistades rauapuru õhukesele klaaslehele, mille alla on paigutatud püsomagnet. Rauapuru orienteerub piki kõverjooni, mida nimetatakse magnetilise induktsiooni joonteks. Punktid, kus magnetilise induktsiooni jooned kokku saavad, ongi magnetipoolused. Püsimageti magnetväli on tema osakeste (eelkõige elektronide) omamagnetväljade summa.



Joonis 2. Magnetvälja suund põhjapooluselt lõunapoolusele.

Elektrivoolu olemasolul näitab magnetinduktsioon (B -vektor) jõudu, mis mõjub ühikulise voolutugevusega ja ühikulise pikkusega juhtmelõigule selle juhtmega ristavas magnetväljas:

$$\mathbf{B} = \mathbf{F} / \mathbf{I} \times \mathbf{l}, \text{ kus } [B] \text{ SI} = 1 \text{ T (tesla)}. 1 \text{ T on sellise välja magnetinduktsioon, milles välja}$$

suunaga ristuvale juhtmele pikkusega 1 m ja voolutugevusega 1 A mõjub välja poolt jõud 1 N =>

1 T = 1 N / 1 A * 1 m. Magnetvälja induktsiooni mõõtühikuna kasutatakse ka Gauss (tähis G, Gs) ja 1 tesla = 10⁴ gaussi.

Jõud F leitakse Ampere'i seaduse järgi: magnetväljas juhtmelõigule mõjuv jõud F on võrdeline juhet läbiva voolu tugevusega I , juhtmelõigu pikkusega l ja siinusega nurgast α voolu suuna ning magnetvälja suuna vahel: $F = B \times I \times l \times \sin \alpha$.

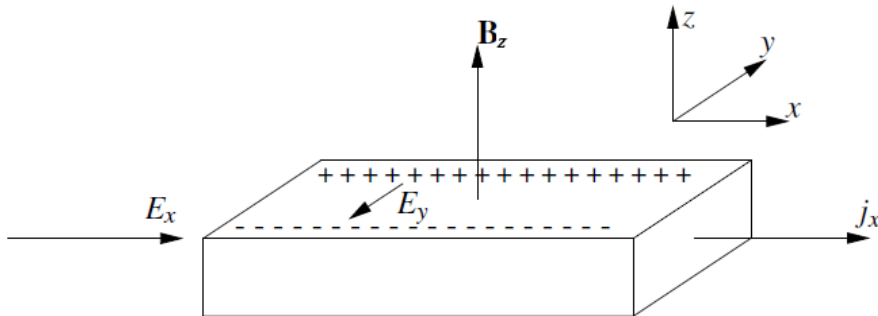
Ampere'i seadus kirjeldab jõudu, mis summeerub ühikulisele laengukandjale mõjuvatest jõududest. Liikuvale laengule mõjuvat jõudu nimetatakse aga Lorentzi jõuks. Nii Ampere'i jõud kui ka Lorentzi jõud on määratavad vasaku käe reeglina [6]. Vasaku käe reegel ütleb, et kui juhis liiguvad negatiivse laenguga osakesed, siis tuleb vasak käsi asetada nii, et väljasirutatud sõrmed näitavad kiirusvektori suunale vastupidist suunda. Siit võime järeldada, et tegemist on analoogiliste jõududega. Erinevus on selles, et Ampere'i seadus ja jõud on avastatud 1820 aastal, kui ei olnud teada, mis liigub (elektron avastati alles 1897). Lorentzi seadus ja jõud selgus aga metallide klassikalise elektriteooria loomisel 1880-1909 aastate vahemikus. Ampere'i jõud paneb vooluga juhtme liikuma magnetväljas ja sellele põhineb elektrimootori töö, st see jõud teeb tööd. Lorentzi jõud aga tööd ei tee, osakesed liiguvad lihtsalt Lorentzi seaduse kohaselt.

Lorentzi jõu definitsiooni valem on: $F = B \times q \times v \times \sin \alpha$, kus B on magnetiline induktsioon (teslades T), q on osakese laeng (kulonites C), v on osakese kiirus (meetrites sekundis m/s) ja α on nurk v -vektori ja B -vektori vahel [7].

Tekib küsimus, et kui juht, milles on vool ehk liikuvad elektronid, pannakse magnetvälja, mis siis juhtub? Elektronid peaksid kogema mingit jõudu, mis on risti nende liikumissuunaga ja laengukandjad peaksid kogunema juhi ühte serva. Seda fenomeni uuris 1879 E. H. Hall, kes lisaks argumenteeris, et kui vool koguneb juhi ühte serva, siis peaks ka takistus suurenema [8].

Olgu z -telje suunas magnetväli B_z ja x -telje suunas elektriväli E_x . Viimane tekitab voolutiheduse j_x . Samas Lorentzi jõud surub liikuvad laengud juhi servadesse ja see indutseerib elektrivälja y -teljega vastupidises suunas. Tasakaaluolekus on selle elektrivälja E_y poolt tekitatud jõud ja

Lorentzi jõud võrdsed ning laengud voolavad ainult x-telje sihis. See on üks võimalikest mudelitest, mis aitab meil aru saada Halli efekti olemasolust (Joonis 3).

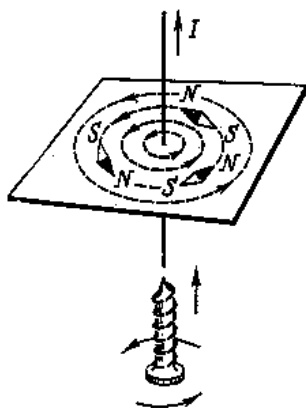


Joonis 3. Halli efekt [8].

Kaks suurust, mis Halli efekti uurimisel vaja läheb: $\rho_H = E_y/j_x$, mis on siis eritakistus kui funktsioon magnetväljast ja kutsutakse magnettakistuseks. Teine suurus on Halli tegur, mis annab seose magnetvälja, voolu ja tekkiva elektrivälja vahel: $R_H = E_y/j_x \times B$.

Magnetväljas liikuva juhi otstel tekib pinge U . $U = v \times l \times B \times \sin y$, siin v on juhtme liikumise kiirus (m/s), l on juhi pikkus meetrites, B - magnetinduktsioon (T) ja $\sin y$ on nurk kiiruse ja magnetvälja suuna vahel. Pinge mõõtühikuks on 1 Volt (V) [9].

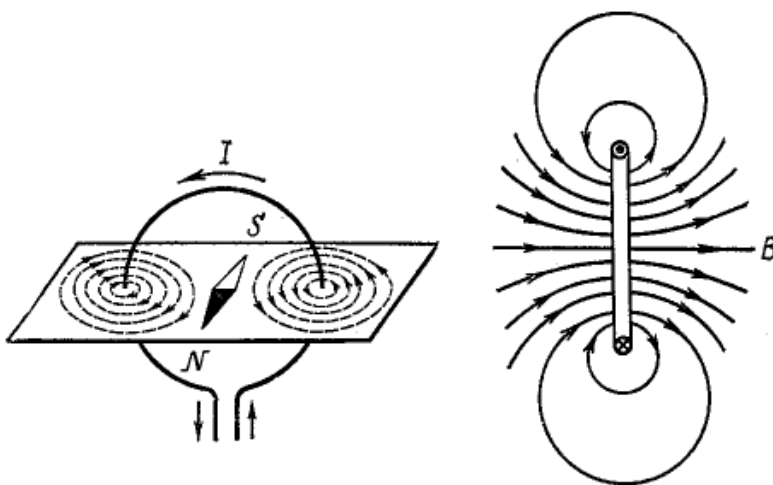
Sirgvoolu magnetvälja jõujooned saab kindlaks teha kas kruvireegli või parema käe kuldreegli abil. Kruvireegel näitab, et vooluga juhtmelõiku ümbritseva magnetvälja suund ühtib paremkeermelise kruvi pööramise suunaga, kui voolu suunaks on kruvi kulgeva liikumise suund. Parema käe reegli idee seisneb selles, et parema käe välja sirutatud põial näitab voolusuunda ja kõverdatud sõrmed näitavad jõujoone suunda (Joonis 4).



Joonis 4. Sirgvoolu magnetvälja jõujooned [10].

Ringvoolu magnetvälja jõujooned (Joonis 5) saab määrata eelnevalt vaadeldud reeglite abil. Kruvireegel räägib, et kui kruvipea pöördumise suund näitab voolusuunda, siis kruvi teraviku liikumise suund näitab jõujoone suunda. Parema käe rusikareegel - kui parema käe kõverdatud sõrmed näitavad voolusuunda, siis väljasirutatud põial näitab jõujoone suunda ehk joonise paremal poolel on vool suunatud alt üles ja jõujooned vasakult paremale.

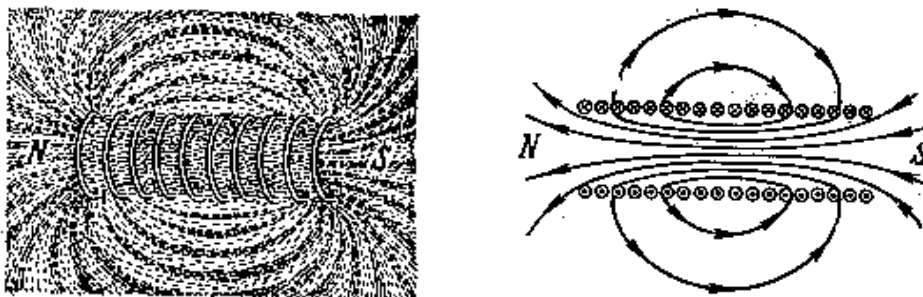
Nii eksisteerib voolujuhtmes vastastikune mõju voolu suuna ja tema magnetvälja vahel [10].



Joonis 5. Ringvoolu magnetvälja jõujooned.

Magnetinduktsiooni jooned vooluga poolis (Joonis 6) ehk solenoidis, sisenevad poolde tema lõuna magnetpoolusest ja väljuvad põhjapoolusest. Solenoid koosneb kõrvuti asetsevatest juhtmekeerdudest ehk traat on keritud tihedalt plast- või papptorule. Vooluga pooli magnetvälja

jõujooned on kinnised kõverad, kui aga pikkus on suurem pooli ümbermõõdust, on magnetvälja jõujooned pooli sees paralleelsed [11].



Joonis 6. Solenoidi magnetvälja jõujooned.

Suurem osa selles peatükis käsitletud valemitest on meile kooli füüsikast teada ja need teadmised on kasuks magnetvälja avastamisel ja tundma õppimisel magnetvälja anduri abil. Et aga aru saada, kuidas käituvad kehad magnetväljas ja kas nad on võimelised magnetvälja tekitama, tutvume ainete magnetiliste omadustega.

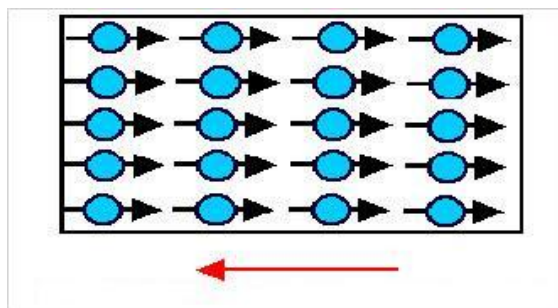
1.3 Magnetilised omadused

Kõik looduses olemasolevad kehad jagatakse magnetomaduste järgi kolme põhiklassi: diamagneetikud, paramagneetikud ja ferromagneetikud. Nende erinevus seisneb magnetilises läbitavuses, mis näitab, mitu korda on magnetinduktsioon aines suurem kui vaakumis. Arvutuste tegemiseks kasutatakse valemit:

$\mu = \frac{B}{B_0}$, kus B on magnetiline induktsioon keskkonnas ja B_0 magnetiline induktsioon vaakumis.

Diamagneetiku aatomis on elektronide spinnidest (spinn - elemetaarosakest iseloomustav kvantarv, mis põhjendab kahe elektroni viibimist samal positsioonil, võib olla kas $-\frac{1}{2}$ või $\frac{1}{2}$) tingitud magnetväljad paarikaupa vastassuunalised. Selle tagajärjel on aatomi kogumagnetväli välismõju puudumisel null. Välises magnetväljas hakkavad elektronid täiendavalt liikuma nõnda, et tekib nõrk vastupidise suunaga väli (Joonis 7). Seega, diamagneetikud veidi nõrgendavad

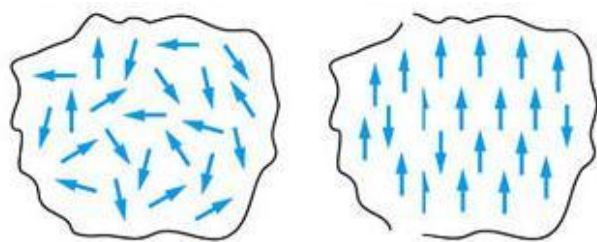
nendele mõjuvat magnetvälja, nende magnetiline läbitavus on väiksem 1-st. Siia rühma kuuluvad näiteks sellised ained nagu kuld, hõbe, vask.



Joonis 7. Magnetvälja mõjul tekib diamagneetikus nõrk vastupidise suunaga väli [13].

Paramagneetiku aatomis ei ole elektronide summaarne magnetväli null, sest elektronide arv on paaritu [12]. Ühe elektroni omamagnetväli jääb tasakaalustamata.

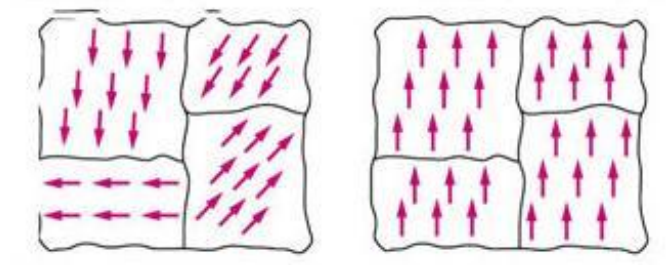
Välises magnetväljas üritab paramagneetiku osake pöörata end nii, et osakese magnetväli oleks välise väljaga samasuunaline (Joonis 8). Seetõttu magnetväli paramagneetikus veidi tugevneb ja paramagneetiku läbitavus on 1-st suurem. Siin võib mainida sellised ained nagu alumiinium, volfram, mangaan, kaalium, naatrium.



Joonis 8. Paramagneetiku väli väljaspoolt magnetvälja (vasakul) ja välise magnetvälja mõjul (paremal) [13].

Kõige tugevama magnetilise mõjuga on ferromagneetikud. Nende läbitavus on 1-st palju suurem ja nad tugevdavad nendele mõjuvat magnetvälja tuhandeid kordi. Tuntud ferromagneetikud on raud, nikkel, koobalt. Ferromagneetiku ühe osakese magnetväli on väga tugev, seetõttu suudavad ferromagneetiku osakesed vastastikku üksteise magnetvälja tugevdada, mille tulemusel tekivad

iseenesliku magneetumise piirkonnad, mida nimetatakse domeenideks. Domeeni mõõtmed on 0,1 - 10 mm ja domeeni piires on kõigi osakeste magnetväljad ühesuguse suunaga (Joonis 9).



Joonis 9. Ferromagneetiku domeenid väljaspoolt magnetvälja (vasakul) ja välise magnetvälja mõjul (paremal) [13].

Tegime selgeks, et kehad jagunevad magnetomaduste järgi kolme rühma ja nende käitumine magnetväljas on erinev. Osad nõrgendavad magnetvälja, osad vastupidi aitavad magnetvälja tugevamaks teha ja vastavalt vajadusele, kasutatakse neid paljudes erinevates valdkondades.

1.4 Magnetvälja kasutamine

Kui vanasti oli teada ainult üks magnetismi praktiline kasutamine, kompass, siis tänapäeval võtaks kasutamisalade loendamine palju aega. Kõige lihtsamad näited magneti kasutamisest on kõrvaklapid, kõlarid, telefoni toru, salvestusseadmed, pangakaardid, magnetlukud, mänguasjad. Paljudes masinates ja aparaatides mängib magnetväli väga tähtsat rolli. Võtame näiteks masinad, mis muundavad mehaanilise energia elektrienergiaks ehk generaatorid. Generaatori kaks põhilist osa on mähiseid sisaldav staator ja võllil pöörlev magnetvälja allikas- rootor. Mootori töötades aetakse rihmaga ringi ka rootorit, mis katkestab staatori mähiseid ning tekitab voolu. Vähem võimsates generaatorites kasutatakse rootori asemel vahepeal tavalist magnetit. Selliseid generaatoreid kasutatakse näiteks autodes, lennukites, traktorites töösegu edasi toimetamiseks, sisepõlemismootori silindrites.

Tähtsat rolli mängib magnetväli ka masinates, mis muudavad elektrienergiat mehaaniliseks energiaks. Neid nimetatakse elektrimootoriteks ja kasutatakse erinevate mehhanismide liikuma

panemiseks. Elektrimootori pöörlevaks osaks on ankur, mis on üksikutest lehtedest kokku pandud terassilinder. Selle välispinna uuretesse on paigutatud mähise juhtmekeerud.

Tänapäevases elus kasutatakse magnetvälja peaaegu kõikides valdkondades ja võib kindlalt öelda, et igal inimesel on sellega kokkupuude olemas [14]. Kuid kuna magnetvälja avastamine ilma magnetvälja andurit kasutamata on paljudel juhtudel raske, siis järgmisena uurime, kuidas magnetvälja andur selle ülesannega hakkama saab.

2 Magnetvälja andur (MG-BTA1)

Käesolevas peatükis tutvustatakse firma Vernier poolt toodetavat magnetvälja andurit, mis on mõeldud töötama koos LEGO MINDSTORMS NXT robotitega.

Vernier magnetvälja andur mõõdab magnetvälja vektorkomponenti, mis on eelnevalt peatükis 1.2 defineeritud B-vektor. Vektorkomponent näitab magnetvälja tugevust anduri tajuri lähedal. Anduri otsa on võimalik muuta, et mõõta magnetväljasid, mis on anduri pikiteljega paralleelsed või risti. Andurit on võimalik kasutada paljude magnetvälja hõlmavate eksperimentide jaoks [15,16].

- Mõõta ja uurida Maa magnetvälja
- Määrata Maa magnetiline põhjasuund
- Uurida magnetvälja püsिमagnetі läheduses
- Mõõta magnetvälja tugevust voolujuhtme lähedal
- Mõõta magnetvälja tugevust pooli otsa lähedal
- Mõõta magnetvälja solenoidi avamisel

Edasi saame proovida ja katseliselt mõõta erinevate kehade ja Maa magnetvälja, määrata Maa magnetilist põhja- ja lõunasuunda, uurida magnetvälja püsिमagnetі ning voolujuhtme läheduses. Kuid eelnevalt peame selgeks tegema anduri töö põhimõtte ja tutvuma anduri programmeerimiseks vajaliku tarkvaraga.

2.1 Magnetvälja anduri töö põhimõtte

Andur kasutab Halli efektil põhinevat energiamuundurit [19], mille väljundis on magnetväljas lineaarselt sõltuv pinge. Andur mõõdab magnetvälja, mis on risti valge täpiga anduri otsas. Näit on positiivne, kui valge täpp on suunatud magnetilise lõunapooluse suunas.

Anduri peal olevat nuppu kasutatakse mõõtepiirkonna muutmiseks (Joonis 10). 6.4 mT piirkonda (vanematel anduritel madalam võimendus) kasutatakse selleks, et mõõta magnetvälju püsi- ja

elektromagnetite läheduses. 1V on 32 gaussi (3.2×10^{-3} teslat). Anduri mõõtepiirkond on ± 64 gaussi või $\pm 6.4 \times 10^{-3}$ teslat.

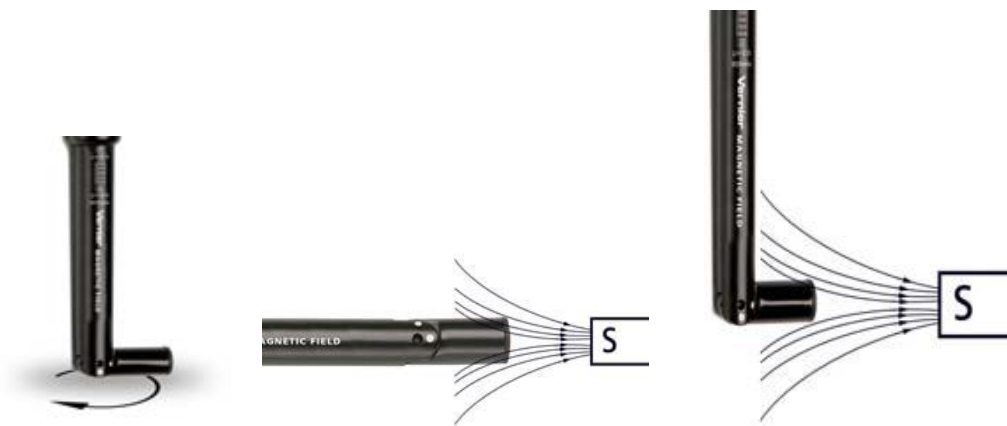
0.3 mT mõõtepiirkonda (vanematel anduritel kõrgem võimendus) kasutatakse Maa ning muidu nõrkade magnetväljade mõõtmiseks. Sellises režiimis saab mõõta ka teistsuguseid magnetväljasid, kuid andur peab mõõtmise ajal olema paigal, et välistada Maa magnetvälja mõju.

1V on 1.6 gaussi (1.6×10^{-4} teslat). Anduri mõõtepiirkond on ± 3.2 gaussi või $\pm 3.2 \times 10^{-4}$ teslat.



Joonis 10. Nupp anduri mõõtepiirkonna muutmiseks.

Kui hoida andurit vertikaalselt ning otsa horisontaalselt ja keerata kuni maksimaalse väljundpingeni, osutab valge täpp magnetilise põhjapooluse suunas (Joonis 11).



Joonis 10. Magnetvälja mõõtmine. Valge täpp asub magnetilise põhjapooluse suunas.

Magnetiliste jõujoonte kallet on võimalik leida, kui kallutada andurit vertikaalsest asendist tahapoole ehk muuta anduri ja maapinna vaheline nurk väiksemaks nii, et valge täpp osutab endiselt põhja. Kui väljundpinge saavutab maksimumi on magnetvälja jõujoonte kalle maapinna suhtes leitud. Tähelepanu tuleb pöörata sellele, et tavalise magneti põhjapoolus osutab põhja, kuna Maa põhjapoolusel asub magnetiline lõunapoolus.

2.1.1 Kalibreerimine

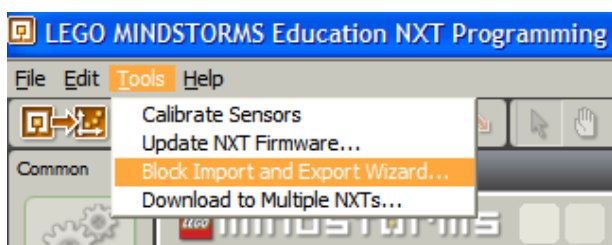
Magnetvälja anduri kasutamisel ei ole kalibreerimist vaja. Andur seadistatakse vastavalt vajadustele juba enne müüki saabumist. Enne katsete alustamist on vaja oodata, kuni nool liigub null-positsiooni, mille järel saab erinevate objektide juurde liikudes mõõta nende magnetvälja.

2.1.2 Anduri programmeerimine

Enne magnetvälja anduri kasutamist tuleb Vernier veebilehelt <http://www.vernier.com/nxt/> alla laadida NXT-G keskkonna jaoks Vernier andurite plokk. Antud plokk asub “MINDSTORMS NXT Downloads” jaotise all, kus avanevast aknast tuleb valida MINDSTORMS NXT versioonile (kas 1.1 või 2.0) vastvalt kas „Download Vernier Sensor Block – version 1.02” või „Download Vernier Sensor Block – version 2.0”.

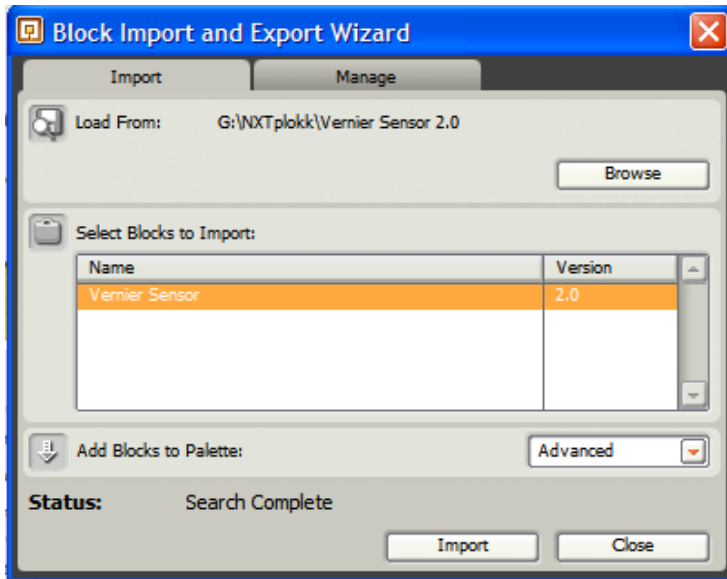
Kui lisaplokk saab alla laetud, tuleb see lahti pakkida eraldi kataloogi, näiteks C:\NXTplokk ning seejärel importida NXT-G tarkvarasse. Selleks:

- Käivitada LEGO MINDSTORMS NXT-G tarkvara.
- Valida ülevalt menüüribalt „Tools“ ja seejärel „Block Import and Export Wizard...” (Joonis 11)



Joonis 11. Tools menüü, ploki importimise valik

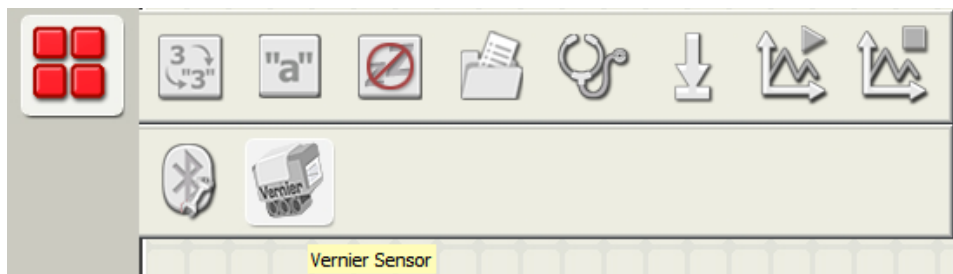
- Avatud aknas, mis on Joonisel 12, vajutada nupule “Browse” ja navigeerida selle kataloogi peale, kuhu eelnevalt allalaetud programmeerimisplokk oli lahti pakitud



Joonis 12. Tee määramine Vernier sensori kaustani

- Valida loetelust meid huvitav plokk: Vernier Sensor 2.0
- Vajutada nupule “Import”

Peale importimist lisatud plokk on kättesaadav täieliku paleti "Advanced" alajaotusest (Joonis 13):



Joonis 13. Vernier anduri plokk

2.1.3 Vernier magnetvälja anduri plokk

Ploki alumisel äärel klõpsates avaneb infotulp nagu kujutatud joonisel 14. Anduri ploki võimalikud sisendid (A,B,C) ja väljundid (1-7) on järgnevad:



Joonis 14. Vernier anduri ploki valikud

Sisendid:

- A. Port, kuhu andur on ühendatud (vaikimisi 1)
- B. Võrdluspunkti sisend
- C. Võrdlustehe, mida sooritatakse

Väljundid:

- 1. *Port* – Port, kuhu andur on ühendatud (vaikimisi 1)
- 2. *Trigger Point* – Võrdluspunkti sisend
- 3. *Greater/Less* – Võrdlustehe, mida sooritatakse
- 4. *Yes/No* – Võrdlustehe tulemus: tõene või väär
- 5. *Raw Value* – Saadud tulemus numbrilise väärtusena
- 6. *Value* – Saadud tulemuse töötlemata väärtus
- 7. *Value String* – Tekstiline väljund

2.1.4 Andmejaotur

Programmi keskkonna alumises vasakus servas asub anduri ploki omadustepaneel, kust saab vastavaid valikuid teha (Joonis 15):

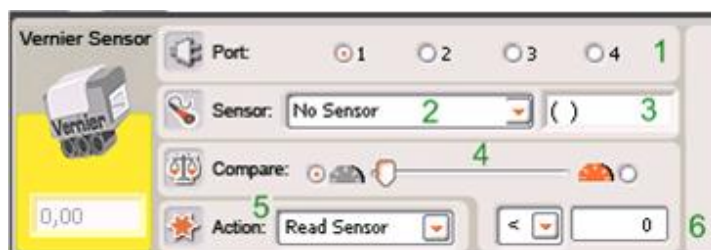
1. Port, kuhu andur on ühendatud
2. Anduri valik
3. Vastava anduri ühik (täidetakse automaatselt)
4. Suurem/väiksem võrdlus
5. Soovitud tegevus:

Read sensor - anduri tulemuse lugemine

Zero/Calibrate - nullimine

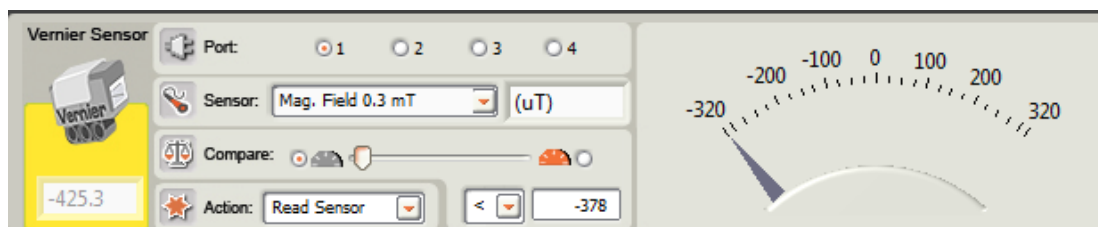
Reset - kalibratsiooni seadmine vaikumisi väärtusele

6. Suurem/väiksem kui mingi etteantud väärtus



Joonis 15. Anduri ploki omadustepaneel

Kui anduri valik on tehtud (meie juhul on see Mag.Field 0.3 mT), saame sellise pildi (Joonis 16):



Joonis 16. Omadustepaneel magnetvälja anduri programmeerimiseks mõeldud seadetega

Kui anduri ploki valikuga on hakkama saadud, võib liikuda edasi ülesannete juurde.

3 Ülesanded

Käesolevas peatükis on koostatud ülesanded, mis aitavad kaasa magnetvälja avastamisel ja uurimisel magnetvälja anduri abil. Ülesanded pakutakse koos võimalike lahendustega ja nende kirjeldustega, tuuakse välja võimalused ülesannete edasi arendamiseks. Kõik ülesanded on jaotatud nelja kategooriasse: hästi lihtne, kerge, keskmine ja raske, et erineva tasemega õpilased saaksid endale vastavat väljakutset leida.

Iga ülesanne koosneb järgnevatest punktidest [20]:

- **Tase** - ülesandele määratud raskusaste.
- **Eesmärk** - kirjeldatakse, milliseid oskusi ja teadmisi ülesande lahendamise arendab.
- **Ülesande täitmiseks vajalikud vahendid** - tuuakse välja ülesande lahendamiseks vajalike vahendite nimekiri.
- **Ülesande püstitus** - lahendust vajava elulise situatsiooni kirjeldus.
- **Lahenduse idee** - pakutakse välja idee, kuidas ülesannet lahendada ning millises suunas peaks mõtlema, et saavutada töö autori lahendusega sarnane lahendus.
- **Lahendus** - kirjeldatakse töö autori poolt koostatud ülesande lahendust. Lahenduse variante võib olemas olla teisigi. Kõik lahendusfailid on lisatud antud töö lisa olevale CD plaadile (Lisa 1).
- **Tekkida võivad probleemid** - kirjeldatakse ülesande lahendamisel tekkida võivaid probleeme ja nende lahendusi. Kindlasti pole tegemist lõpliku ja kõiki võimalikke probleeme kirjeldava nimekirjaga.
- **Ideed ülesande edasiarendamiseks** - kirjeldatakse võimalusi, kuidas saab ülesannet raskemaks muuta, osaliselt tuuakse ka nende lahendusi.

Ülesannete lahendamiseks kasutatavate robotite ehitamiseks on olemas palju võimalusi. Autori poolt pakutud variant on lisatud pildina iga ülesande juurde. Tegemist on hästi lihtsate robotitega ja selleks, et arendada õpilaste mõtlemisoskust ja anda neile võimalust meisterdada robotit oma nägemuse järgi, juhised robotite ehitamise kohta puuduvad.

3.1 Ülesanded magnetvälja andurile

3.1.1 Ülesanne 1 – Magnetvälja anduriga tutvumine

Tase: hästi lihtne

Eesmärk:

Ülesandes teeme kindlaks, kuidas sõltub magnetvälja tugevus magnetvälja anduri asukohast. Mõõdame püsिमagnetі magnetvälja tugevust, leiame püsिमagnetі põhja-ja lõunapoolused.

Ülesande täitmiseks vajalikud vahendid:

- Vernier magnetvälja andur
- NXT juhtplokk
- Arvuti koos USB ühenduskaabliga
- MINDSTORMS NXT-G tarkvara
- Adapter ja juhe juhtploki külge ühendamiseks
- Teip anduri kinnitamiseks
- Erineva magnetvälja tugevusega püsिमagnetid

Ülesande püstitus:

Kadi sai teada, et iga püsिमagnetі läheduses tekib magnetväli, mille abil saab magnet raudesemeid enda poole tõmmata. Kuidas aga üks püsिमagnet teisest erineb, kus asub tema põhja-või lõunapoolus pole tema jaoks selge. Aita Kadit mõõta püsिमagnetі magnetvälja tugevust ja leida vastavad püsिमagnetі põhja-ja lõunapoolused.

Lahenduse idee:

Kasutades magnetvälja andurit, lugeda püsिमagnetі magnetvälja suurust ja näidata see ekraanile.

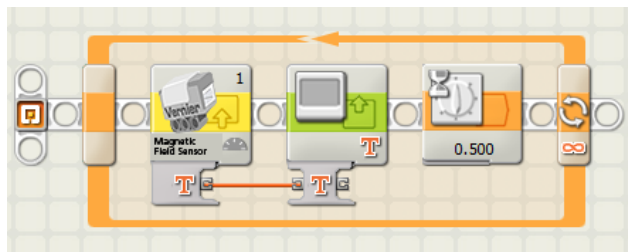
Lahendus:

Esialgu ühendame magnetvälja anduri juhtplokiga nagu näidatud joonisel 17 ja selleks, et andur liikumatuks teha, kasutame teipi tema kinnitamiseks laua külge. Valge täpi anduri otsas suuname ülespoole ning mõõtepiirkonnaks paneme 6,4 mT.



Joonis 17. Juhtplokiga ühendatud magnetvälja andur

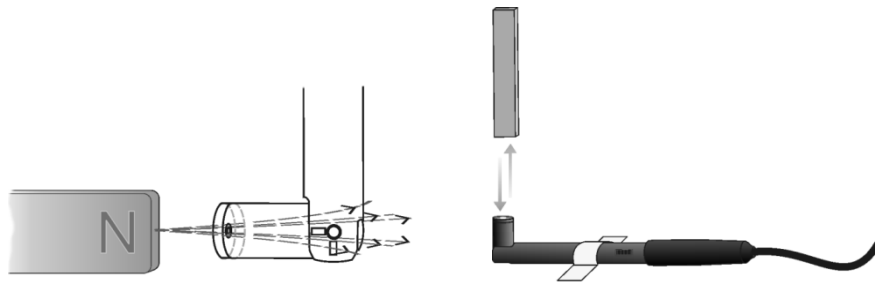
Seejärel kirjutame MINDSTORMS NXT-G tarkvara abil programmi nagu joonisel 18.



Joonis 18. Programm, mis mõõdab magnetvälja tugevust ja väljastab vastvat arvu ekraanile

Programm mõõdab magnetvälja tugevust ning väljastab vastavat arvu ekraanile. Seejärel ootab pool sekundit ja kordab mõõtmist tsükliliselt. Siin ei tohi unustada, et lisatud plokist tuleb valida andur Mag.Field 6.4 mT.

Kui magnet viia anduri juurde nii nagu näidatud joonisel 19 ja hakata teda liigutama, siis saame ekraanile erinevad arvud, nii positiivsed kui negatiivsed.



Joonis 19. Püsimagneti põhjapooluse leidmine

Arvestades seda, et magnetiliste jõujoonte kontsentratsioon on suurem pooluste lähedal, siis magneti otsade juures on magnetvälja tugevus suurem. Kui jõujooned sisenevad samalt poolt, kus asub valge täpp, siis on tulemus negatiivne, kui teiselt poolt, siis positiivne. Samuti kui saame negatiivse tulemuse, siis oleme leidnud magneti põhjapooluse, kui positiivse, siis lõunapooluse.

Tekkida võivad probleemid:

- Tulemusi ei saada, sest port, kuhu andur on ühendatud, ei vasta magnetvälja anduriplokis paika seatud pordile.
- Andur on valitud valesti: kuna anduri peal valime suurust 6,4 mT, siis ka programmis peab olema valitud vastav andur.

Ideed ülesande edasi arendamiseks:

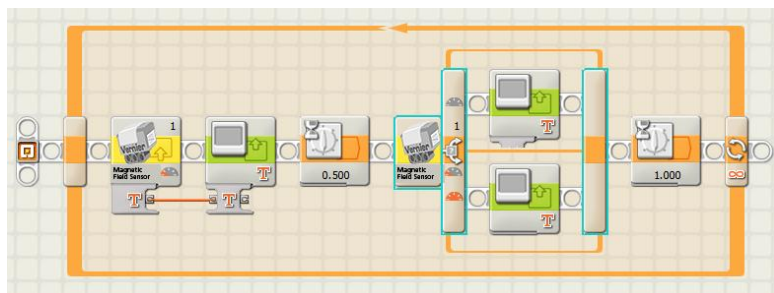
- Kirjutada programm, mis püsimagneti eemale viimisel näitab kurba nägu ning püsimagneti lähedale viimisel rõõmsat nägu.
- Kirjutada programm, mis leiab magneti põhja ja lõunapoolust ja väljastab ekraanile vastavat teadet.

Lahenduse idee:

Kasutades magnetvälja andurit, lugeda püsimagneti magnetvälja suurust ja näidata see ekraanile.

Lahendus 1:

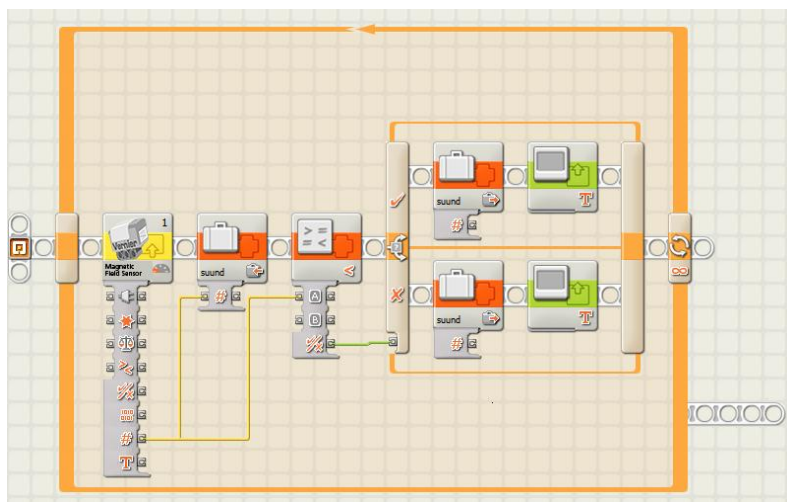
Joonisel 20 on toodud programm, mis vastavalt saadud tulemusele väljastab ekraanile, kas tegemist on püsimagneeti põhja- või lõunapoolusega. Kui lugem on väiksem nullist, siis ekraanile kirjutatakse „Põhjapoolus”, kui suurem nullist, siis „Lõunapoolus”.



Joonis 20. Püsimagneeti põhja- ja lõunapooluse leidmine ja selle väljastamine ekraanile

Lahendus 2:

Joonisel 21 on toodud eelmise ülesande natuke raskem lahendus. Alguses andurist saadud väärtus omistatakse muutujale “suund”. Edasi kontrollitakse, kas väärtus on väiksem nullist või mitte. Positiivse tulemuse saamisel (positiivne tulemus tähendab siin, et väärtus on väiksem nullist), väljastatakse ekraanile kirje “Põhjapoolus”. Vastasel juhul väljastatakse “Lõunapoolus”.



Joonis 21. Magnetvälja anduri väärtuse võrdlemine nulliga ja püsimagneeti põhja- ja lõunapooluse väljastamine ekraanile.

3.1.2 Ülesanne 2 – Magneti leidja

Tase: kerge

Eesmärk:

Ülesandes konstrueerime roboti, mis leiab magnetvälja anduri abil kolmest topsikust ühe, mille alla on peidetud magnet [21].

Ülesande täitmiseks vajalikud vahendid:

- Vernier magnetvälja andur
- NXT juhtplokk
- Arvuti koos USB ühenduskaabliga
- MINDSTORMS NXT-G tarkvara
- Adapter ja juhe juhtploki külge ühendamiseks
- LEGO klotsid, roboti ehitamiseks
- Püsimagnet ja kolm topsi

Ülesande püstitus:

Marko sõbrad on nädalavahetuseks ära sõitnud. Kõik kodused ülesanded on tal tehtud ja ta otsib endale huvitavat tegevust. Ema kunagi rääkis talle mängust, kus üks inimene võtab mitu topsikut, peidab münti ühe topsiku alla ja ruttu vahetab topsikute asukohad. Teine inimene peab aga nii hoolikalt jälgima seda protsessi, et asukoha vahetamise lõpus täpselt näidata, kus asub peidetud münt. Marko otsustab konstrueerida roboti, mis arvaks ära, kus asub tema poolt peidetud magnet.

Lahenduse idee:

Kasutades LEGO klotse, magnetvälja andurit, kolme topsi ja püsimagnetit konstrueerida robot, mis avastaks topsi alla peidetud magneti.

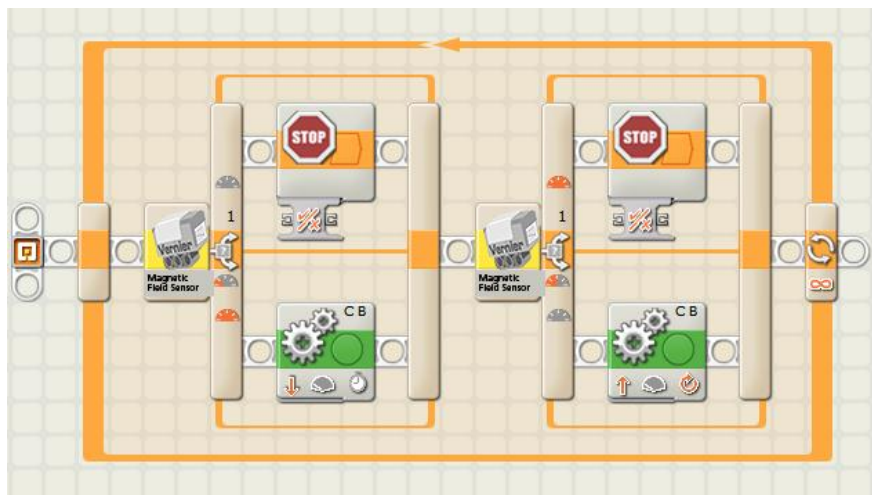
Lahendus:

Esialgu konstrueerime roboti, mis vastaks ülesande püstitusele. Autori poolt pakutud variant on toodud joonisel 22, kus on kasutatud ainult kahte topsi (kuid neid võib olla kolm ja rohkem).



Joonis 22. Peidetud magneti leidmiseks konstrueeritud robot

Kui robot on valmis, võib hakata programmi kirjutama. Kuna tegu on püsimagneti leidmisega, peab magnetvälja suurus olema kas suurem nullist või väiksem nullist. Kui saadud väärtus on null, siis robot liigub edasi. Võimalik lahendus, kus kasutatud Mag. Field 6,4 mT, on toodud joonisel 23.



Joonis 23. Peidetud magneti leidmine 6,4 mT mõõtepiirkonda kasutades

Natuke raskem variant, kus kaasatud ka ise tehtud plokkide kasutamine [22], on toodud failis magnet_finder2.rbt.

Teine variant ülesande lahendamiseks on toodud failis magnet_finder3.rbt [21]. Siin on kasutatud mõõtepiirkonda nõrkade väljade avastamiseks (Mag.Field 0.3 mT). Paralleelselt liikumise alustamisega võetakse esimene magnetvälja suuruse väärtus ja salvestatakse see muutujusse “value”, viiakse mootorit algseisundisse. Edasi järgneb tsükel, mis kestab 2 sekundit. Tsükli sees saadakse magnetvälja anduri hetkeväärtus, antakse signaal, hetkeväärtust võrreldakse enne saadud väärtusega: kui eelmine on hetkeväärtusest väiksem, siis jätkakse meelde roboti asukoht ja liigutakse selle võrra tagasi.

Tekkida võivad probleemid:

- Et avastada püsimagneti poolt tekitatavat magnetvälja, peab andur asuma magnetile väga lähedal, kui viimast mitte jälgida, ei pruugi programm oodatud tulemust tagastada
- Robot peab liikuma aeglaselt, et fikseerida magnetvälja suuruse muutus.
- Anduri tööd võivad mõjutada lähedal asuvad magnetiliste omadustega asjad

Ideed ülesande edasi arendamiseks:

Üks teine huvitav mäng peidetud magneti leidmisega on “Minesweeper”. Selleks tuleb magnet peita näiteks vaiba alla ja kasutades lisamootorit, konstrueerida selline robot, mis anduri liigutamisel leiaks peidetud magneti üles.

3.1.3 Ülesanne 3 - Kompass

Tase: keskmine

Eesmärk:

Ülesandes konstrueeritud roboti abil mõõta Maa magnetvälja ja leida Maa põhja- ja lõunapoolused [23].

Ülesande täitmiseks vajalikud vahendid:

- Vernier magnetvälja andur
- NXT juhtplokk
- Arvuti koos USB ühenduskaabliga
- MINDSTORMS NXT-G tarkvara
- Adapter ja juhe juhtploki külge ühendamiseks
- LEGO klotsid, roboti ehitamiseks

Ülesande püstitus:

Märt sai kingituseks kasutatud kompassi ja tahab kontrollida, kas kompass töötab õigesti või on ta vigane. Selleks peab ta ehitama ja programmeerima roboti, mis oskaks leida Maa lõuna- ja põhjapoolused.

Lahenduse idee:

Konstrueerida robot, mis magnetvälja anduri abil hakkab mõõtma Maa magnetvälja. Vastavalt saadud tulemustele otsustab, kas tegu on põhja- või lõunapoolusega.

Lahendus:

Autori poolt ehitatud robot on toodud joonisel 24.



Joonis 24. Robot, mille ülesandeks on Maa magnetvälja mõõtmine ning põhja- ja lõunapooluse määramine

Programm on toodud failis `compass_find_north_south.rbt`. Robot pöörleb ümber oma telje seni, kuni leiab magneetilist põhjapoolust (kõrgem näitaja) ehk Maa lõunapoolust, siis liigub selles suunas viie sekundi jooksul. See järel pöörab robot ennast magnetilise lõunapooluse suunas ja sõidab selles suunas samuti viis sekundit.

Tekkida võivad probleemid:

- Anduri tööd võivad segada lähedal asuvad magnetiliste omadustega ained
- Anduri mõõtepiirkond on valitud valesti: tuleb valida 0.3 mT

Ideed ülesande edasi arendamiseks:

Ehitada ja programmeerida robot, mis lisaks põhja- ja lõunapoolusele leiaks ka teised ilmakaared, näiteks ida ja lää.

3.1.4 Ülesanne 4 – Liikumine mööda juhett

Tase: raske

Eesmärk:

Mööda ja uurida magnetvälja vooluga juhtme läheduses.

Ülesande täitmiseks vajalikud vahendid:

- Vernier magnetvälja andur
- NXT juhtplokk
- Arvuti koos USB ühenduskaabliga
- MINDSTORMS NXT-G tarkvara
- Adapter ja juhe juhtploki külge ühendamiseks
- LEGO klotsid, roboti ehitamiseks

Ülesande püstitus:

Elektrisüsteemis on toimunud katkestus ja korteri omanikud palusid elektrikul viga üles leida. Elektrik teab, et tuleb üks juhtme lõik välja vahetada, kuid kuna juhtmete asukoht seina taga pole teada, läheb tal magnetvälja andurit vaja.

Lahenduse idee:

Konstrueerida robot, mis liiguks mööda voolu all olevat juhett.

Lahendus:

Autori poolt ehitatud robot on toodud joonisel 25 ning on sarnane sellega, mida kasutati ülesandes 2.



Joonis 25. Mööda voolu all olevat juhet liikumiseks konstrueeritud robot.

Programm on toodud failis magnet_juhe.rbt. Esialgu tehakse kindlaks, mis vahemikus muutub juhtme läheduses tekkiv magnetväli. Kui andurist saadud tulemus satub nendest piiridest väljapoole, robot peatub, vastasel juhul liigub edasi.

Tekkida võivad probleemid:

- Segavad faktorid: kuskil läheduses asub peidetud juhe, millega pole arvestatud.
- Andur asub juhtmest liiga kaugel

Ideed ülesande edasi arendamiseks:

Ehitada robot, mis esialgu leiaks ja seejärel liiguks mööda vooluga juhet. Selle lahenduseks võiks kasutada näiteks püsimagneti leidmiseks koostatud programmi, kus anduri mõõtepiirkonnaks on 0.3 mT.

Kokkuvõte

Käesoleva bakalaureusetöö põhieesmärgiks oli tutvustada firma Vernier poolt loodud magnetvälja andurit, millega töötamine aitab kooliõpilastel aru saada magnetismist. Lisaks luua selle anduri jaoks sobilikud ülesanded nii algajatele kui edasijõudnutele.

Tänu kirjutatud tööle sai autor uurida magnetvälja olemust, tuletada meelde mõõtmise võimalusi ja magnetväljaga seonduvaid nähtusi, omadusi, kasutamist. Selgeks said ka need asjad, mis koolipingist arusaamatud olid.

Lisaks õppis autor Vernier magnetvälja anduri kasutamist, tema füüsikalist tausta ja tööpõhimõtet. Vaatas, millised on anduri peamised kasutusvõimalused ja kuidas andurit programmeerida. Ja kui esialgu tundus, et anduri kasutusvaldkond on väga kitsas, siis töö näitas, et tegelikult asi ei ole nii.

Töös said esitatud magnetvälja andurile erineva raskusastmega ülesandepüstitused koos ülesannete lahendusidee selgituse ja üksikasjalike juhenditega. Osa ülesannetest olid välja mõeldud autori poolt, osa võetud tuginedes olemasolevatele ideedele.

Antud töö kirjutamisel jälgiti etteantud struktuuri ja vormistamisnõudeid, et töö oleks võimalikult lihtsasti kasutatav sarnaseid töid ühendavas õppematerjalis. Antud töö saab üheks osaks Jaana Metsamaa magistritöö raames kokku pandavas õppematerjalis.

Töö edasiarendusena võiks lisada täpsemad kirjeldused programmeerimise võimaluste kohta teistes keskkondades lisaks LEGO MINDSTORMS NXT-G tarkvarapaketile. Täiendada võiks ka loodud ülesannetekogu.

LEGO MINDSTORMS NXT: Vernier magnetic field sensor

Bachelor Thesis

Anastassia Soikonen

Abstract

The main goal for this bachelor thesis was to describe Vernier magnetic field sensor, what helps students to understand magnetism in practice. Also to make practical exercises for teachers and students.

Author has got an opportunity to explore the nature of the magnetic field, to recall the possibilities of its measurement, also magnetic field related phenomena, properties, and use. Even those things, that stayed incomprehensible since school time, became clear to her.

Author has learned to use Vernier sensor of magnetic field: it's physical background and operating principles as well. Author's first impression was, the scope of use of the sensor is rather narrow, but further work showed that was an erroneous opinion. It was observed, what is the potential use of the sensor and how to program it.

In this work author proposes set of tasks for the sensor, varying in difficulty degree, with explanation of main idea and detailed instructions of solution. Author has composed some of tasks herself; others were built on existing ideas.

This work is a part of foldable learning material under the Master's thesis of Jaana Metsamaa. So author has tried to follow specified structure and requirements for the format to simplify the combining of it with similar works.

Author sees further development of the work in adding detailed descriptions of programming possibilities in environments other than LEGO MINDSTORMS NXT-G software package. It would be good to extend created set of tasks as well.

Kasutatud materjalid

1. Kooliroboti projekt, "Projektist",
<http://www.robootika.ee/lego/projekt/index.php/projektist/>,
(viimati vaadatud 10.05.2011)
2. Магнит, „История открытия”
<http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B0%D0%B3%D0%BD%D0%B8%D1%82>,
(viimati vaadatud 31.05.2011)
3. Магнитное поле земли, „Интересные факты”
<http://1interesnoe.info/2010/05/magnitnoe-pole-zemli/>, (viimati vaadatud 31.05.2011)
4. Магнитное поле земли, http://class-fizika.narod.ru/8_m5.htm, (viimati vaadatud 31.05.2011)
5. Magnetic field, „Earth’s magnetic field”, http://en.wikipedia.org/wiki/Magnetic_field,
(viimati vaadatud 30.05.2011)
6. Füüsika: Konspekt 1,
http://et.wikibooks.org/wiki/F%C3%BC%C3%BCsika:Konspekt_1#Lorenzi_j.C3.B5ud,
(viimati vaadatud 31.05.2011)
7. Füüsika-Elekter II(11.klass), <http://www.abiks.pri.ee/www/?leht=fyselII&m=k>, (viimati vaadatud 31.05.2011)
8. Indrek Mandre, „Juhtivus. Takistus. Ohmi seadus.”,
<http://www.mare.ee/indrek/misc/jtos.pdf>, (viimati vaadatud 31.05.2011)
9. Elektromagnetiline induktsioon,
http://www.hwg.edu.ee/include/upload/Elektromagnetiline_induktsioonok.ppt, (viimati vaadatud 30.05.2011)
10. Энциклопедия магнетизма, „Магнитное поле”,
http://www.valtar.ru/Magnets4/mag_4_11.htm, (viimati vaadatud 31.05.2011)
11. Magnetism, http://www.miksike.ee/docs/referaadid2005/magnetism_avevalli2005.htm,
(viimati vaadatud 31.05.2011)
12. Ainete magnetilised omadused, <http://www.annaabi.com/materjal-12270-ainete-magnetilised-omadused>, (viimati vaadatud 31.05.2011)

13. Magnetic Materials, <http://www.themagnetguide.com/magnetic-materials.html>, (viimati vaadatud 31.05.2011)
14. Для чего используются магниты, <http://allforchildren.ru/why/why1-13.php>, (viimati vaadatud 31.05.2011)
15. LEGO MINDSTORMS NXT lisaandurid,
<http://www.robootika.ee/lego/failid/andurid.pdf>, (viimati vaadatud 31.05.2011)
16. Magnetic Field Sensor (Order Code MG-BTA), <http://www2.vernier.com/booklets/mg-bta.pdf>, (viimati vaadatud 31.05.2011)
17. Magnetic Field Vectors and Components,
http://www.gmw.com/technicalnotes/magfield_vectors.html, (viimati vaadatud 31.05.2011)
18. Voolude vastastikmõju, magnetväli,
<http://www.hwg.edu.ee/include/upload/ElektromagnetismiKT11kl.pdf>, (viimati vaadatud 31.05.2011)
19. Hall effect, http://en.wikipedia.org/wiki/Hall_effect, (viimati vaadatud 31.05.2011)
20. Mirjam Rauba (2010), bakalaureusetöö „LEGO MINDSTORMS NXT’ga ühilduvad andurid kompass ja güroskoop”
21. Magnet Finder, <http://engineering.vernier.com/general/projects/magnet-finder/>, (viimati vaadatud 13.06.2010)
22. Creating and using your own Blocks with My Blocks,
<http://www.nxtprograms.com/help/MyBlocks/tutorial.html>, (viimati vaadatud 13.06.2011)
23. Compass, <http://engineering.vernier.com/general/projects/compass/>, (viimati vaadatud 14.06.2011)

Lisa 1 - CD ülesannete lahendusfailidega

Tabel 1. Ülesannete lahendusfailid

Faili nimi	Ülesande nimi
magnet_test1.rbt	Magnetvälja anduriga tutvumine
magnet_test2.rbt	Magnetvälja anduriga tutvumine
magnet_test3.rbt	Magnetvälja anduriga tutvumine
magnet_finder1.rbt	Magneti leidja
magnet_finder2.rbt	Magneti leidja
magnet_finder3.rbt	Magneti leidja
compass_find_north_south.rbt	Kompass
magnet_juhe.rbt	Liikumine mööda juheta